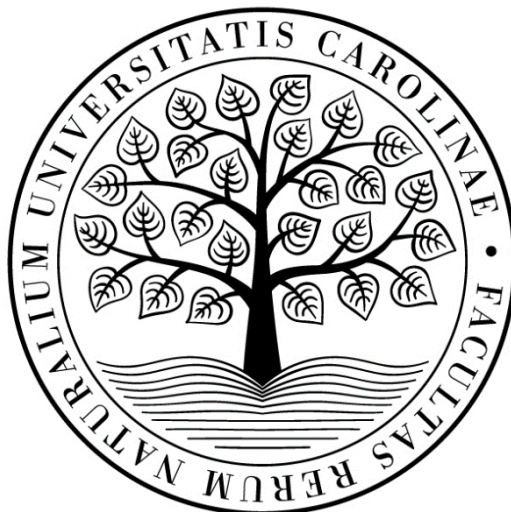


**Univerzita Karlova  
Přírodovědecká fakulta**

**Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky (4500)**

**Studijní program: Geologie**



Jan Pavlát

**Souvislosti výskytu oxidu uhličitého a geologických poměrů chebské pánve**

**Relations of the carbon dioxide occurrence and geologic conditions of the Cheb basin**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Josef V. Datel, Ph.D.

Konzultant: prof. RNDr. Tomáš Fischer, Ph.D.

Praha, 2019

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 8. 1. 2019

Podpis:

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce, RNDr. Josefu V. Datlovi, Ph.D. Moje poděkování patří také prof. RNDr. Tomáši Fischerovi, PhD., který mi dal návrh na měření této problematiky v dané lokalitě. Děkuji Mgr. Josefu Vlčkovi a Bc. Veronice Turjakové, kteří mi pomohli při sběru dat.

V Praze, 8. 1. 2019

Jan Pavlát

## **Abstrakt**

Tato práce popisuje oblast chebské pánve, která se nachází v západních Čechách. Zabývá se geologickou, tektonickou a hydrogeologickou stavbou oblasti. Tato práce se zabývá výstupem CO<sub>2</sub> v chebské pánvi, blízko vesnice Dolní Částkov. Ale také popisuje výskyt minerálních vod v nejbližším okolí zájmové lokality. Dále se zabývám emanací plynů v podzemních vodách. Popisuje vlastnosti a výskyt CO<sub>2</sub>. V závěru práce jsou uvedeny výsledky vlastních měření v pravidelné síti bodů s přístrojem Meopta DI-2 654-03, který slouží na odběr vzduchu a měření koncentrace CO<sub>2</sub> v %.

**Klíčová slova:** oxid uhličitý, chebská pánev, geologické poměry, minerální voda

**Abstract**

This bachelor thesis describes the area of the Cheb basin which is situated in the Western Bohemia, and shows the geological, tectonic, hydrogeological structure of this area. The main feature of the bachelor thesis is a CO<sub>2</sub> emission in the Cheb basin, near the village Dolní Částkov but it also describes the occurrence of mineral waters in the vicinity of the chosen locality. Furthermore, the bachelor thesis deals with the emanation of gases in groundwaters. The bachelor thesis describes the properties and occurrence of CO<sub>2</sub>. At the end of the bachelor thesis, there are results of my measurements in a regular network of points with a device Meopta DI-2 654-03, which serves for an air sampling and measures the concentration of CO<sub>2</sub> expressed in percentages.

**Key words:** carbon dioxide, the Cheb basin, geological conditions, mineral water

## Obsah

1. Seznam obrázků a tabulek.....	7
2. Úvod.....	7
3. Metodika .....	7
4. Přírodní poměry chebské pánve .....	8
4.1. Morfologie, klimatologie .....	8
4.2. Geologická stavba a tektonika širšího území .....	9
4.3. Minerální vody a CO <sub>2</sub> v chebské pánvi .....	10
4.4. Geologické a hydrogeologické poměry chebské pánve .....	12
5. Emanace plynů a plyny v podzemních vodách .....	17
5.1. Plyny v podzemních vodách.....	17
5.2. CO <sub>2</sub> , vlastnosti, výskyt .....	18
5.3. Způsob vzorkování a analýzy .....	19
6. Vlastní měření CO <sub>2</sub> .....	20
6.1. Krátký popis projektu .....	20
6.2. Nejbližší výskyt proplyněných minerálních vod .....	22
6.3. Měření, vyhodnocení .....	27
7. Výsledky a diskuse .....	29
8. Závěr – konstatování, že cíl práce byl splněn .....	31
9. Použitá literatura a zdroje .....	32

## 1. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1. Karlovarský kraj

Obrázek 2. Stratigrafické schéma hlavních terciérních pánví v Čechách

Obrázek 3. Geologický a konstrukční náčrt

Obrázek 4. Hydrogeologické schéma chebské pánve

Obrázek 5. Geologický profil severní části chebské pánve

Obrázek 6. Hydrogeologické řezy chebskou pánví

Obrázek 7. Detekční trubička

Obrázek 8. Dříve provedená měření

Obrázek 9. Přístroj Meopta DI-2 654-03

Obrázek 10. Dolní Částkov

Obrázek 11. Lokalita průzkumu

Obrázek 12. Odběr plynu v terénu

Obrázek 13. Odběr plynu v terénu, v pozadí vrt obsypaný štěrkem

Obrázek 14. Naměřená data s vyznačenými body

Obrázek 15. Data s vyznačenými anomáliemi

Tabulka 1. Rozbor pramene v Dolních Pochlovicích

Tabulka 2. Souřadnice GPS pro měřenou lokalitu

## 2. Úvod

Práce byla zadána na základě již staršího měření na lokalitě poblíž Dolního Částkova v Karlovarském kraji. Nové měření bylo provedeno v menším měřítku, ale v hustším pokrytí bodů v pravidelné síti.

Studium CO<sub>2</sub> v přírodním prostředí má význam pro doplnění znalostí problematiky dané lokality se zaměřením na zemětřesení se souvislosti detekci plynů vystupující na povrch.

## 3. Metodika

Tato práce je rozdělná na dvě části, rešeršní a vlastní měření. V rešeršní části mi bylo největším přínosem zdroje Krásný et al. 2012 a Kolářová et al. 1986, které dobře popisují geologické, tektonické a hydrogeologické Karlovarského kraje.

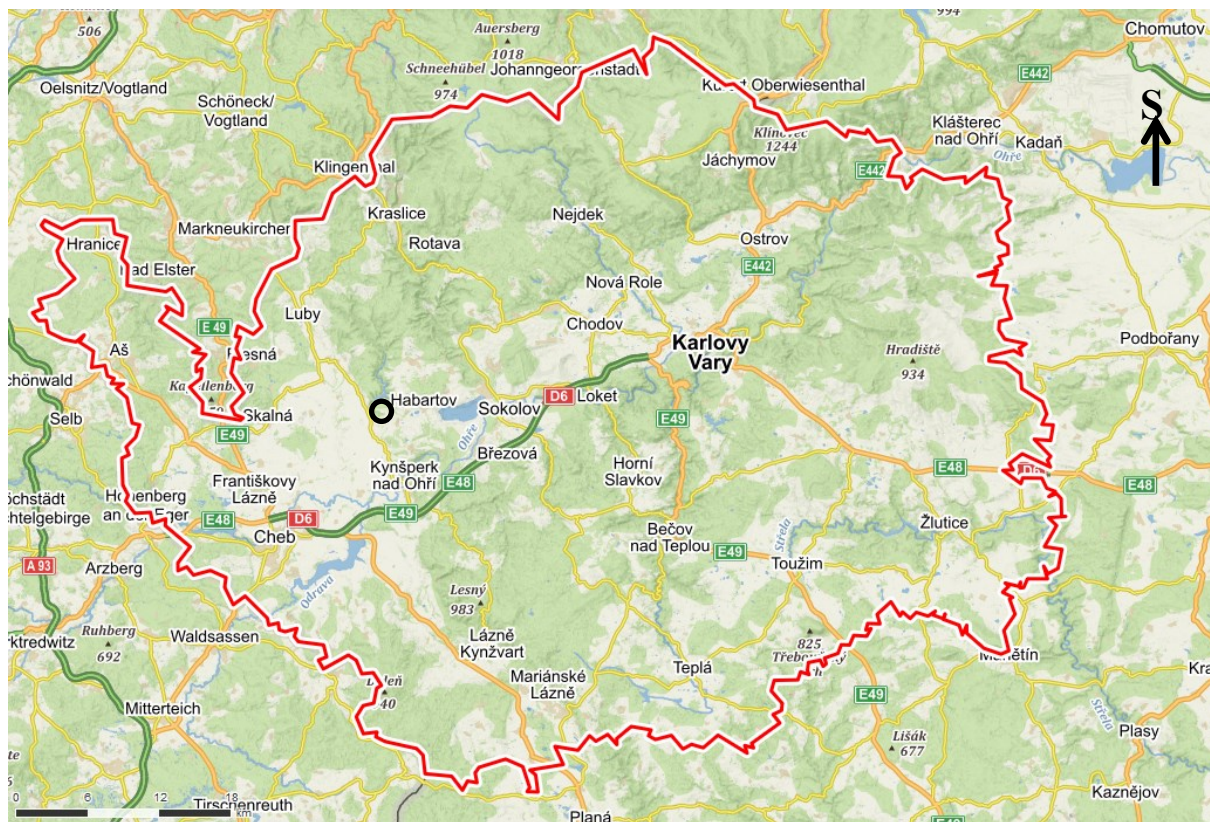
Ve druhé části jsem se zabýval lokalitou na základě staršího měření na ploše zkoumané lokality 80 x 100 metru s hustotou bodů 5 až 10 metru. Nové měření bylo provedeno v místě okolí vrtu s plochou 50 x 27,5 metrů a hustotou bodů 5 až 2,5 metru.

Měření bylo provedeno přístrojem Meopta DI-2 654-03. Naměřená data byla zpracována v programu Surfer.

## 4. Přírodní poměry chebské pánve

### 4.1. Morfologie, klimatologie

Na území Karlovarského kraje (obrázek 1.) se rozkládají tři geomorfologické soustavy. Krušnohorská, Šumavská a Poberounská oblast. V dnešní době je morfologický ráz ovlivněn terciárními pohyby, které postihly v oligocénu a neogénu původní jednotný parovinný povrch (Kolářová et al. 1986).



Obrázek 1. Karlovarský kraj (mapy.cz) ● - místo měřené lokality.

V Krušnohorské soustavě nad mírně zvlněným povrchem vystupují vrcholky tvrdších hornin. Slavkovský les zastupuje starou oligocenní parovinu, která je rozčleněna Tepelskou plošinou a jižním křídlem krušnohorské klenby. Morfologicky výrazné tvary jsou tvořeny především čedičovými kupami. Povrch Chebské kotliny je lehce zvlněný a rozčleněný vodními toky na několik mělkých údolí. Nápadný morfologický hřbít u Dolního Žadova je křemenný val. Sokolovská a Chebská kotlina je oddělená hrástí prahu Chlumu n. Ohří.



Z jednotného akumulčního povrchu, silně postiženého denudací a erozí, vystupují ostrůvky podloží. (Kolářová et al. 1986)

Detailnější popis Chebské kotliny nalezneme v práci L. Špičáková et al. 2000.

Většina území do výšky 700 metrů spadá do mírně teplé oblasti. Krušnohorská část a další vrchoviny nad 700 metrů spadají do chladných oblastí. Průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje kolem 5 až 8°C a roční úhrn srážek je od 460 do 1000 mm. Sněhové poměry činí v nižších polohách 45 dní se sněhovou pokrývkou za rok a ve vyšších polohách 95 dní.

Jihovýchodní část zájmové oblasti je odvodňována Mží a Střelou. Severovýchodní částí Ohří a hraničními toky s Německem. (Kolářová et al. 1986)

## 4.2. Geologická stavba a tektonika širšího území

Zájmovou oblast ovlivnily všechny hlavní tektonické cykly, kadomský, kaledonský, variský a alpský. Po zvrásnění karbonu, kdy byl dokončen tektonický vývoj, po kterém bylo období platformního vývoje, který se projevoval zlomovou plochou (saxonská tektogeneze). V širším zájmovém území jsou zastoupeny předplatformní krystalinické jednotky a zvrásněné paleozoikum a platformní pokryv. (Kolářová et al. 1986)

Chebská pánev patří geologicky k Českému masívu. Geologickou stavbu Českého masívu tvoří dva základní celky. První z nich je alpský a variský konsolidovaná spodní stavba. Druhý celek je platformní pokryv, jenž je budován povariskými útvary prvohorního, druhohorního a třetihorního stáří.

V třetihorách docházelo v alpské a karpatské oblasti k mohutnému vrásnění, které zapříčinilo tektonické pohyby Českého masívu. Ten byl roztříštěn zlomy na jednotlivé kry. Některé začaly vystupovat a některé klesat. Jedna z těch, které klesaly, vytvořily třetihorní chebskou pánev. Střední část podloží chebské pánve tvoří hrubozrnná žula smrčinského masívu. Severní, východní a jižní okraje jsou tvořeny krystalickými břidlicemi.

Zlomová tektonika byla doprovázena sopečnou činností na rozhraní paleogénu a neogénu. Některé sopky byly ještě na začátku čtvrtohor např. Železná hůrka na Chebsku. Zde se nachází uložení tufitických sedimentů poblíž vulkanických výlevů. (Květ, 2011)

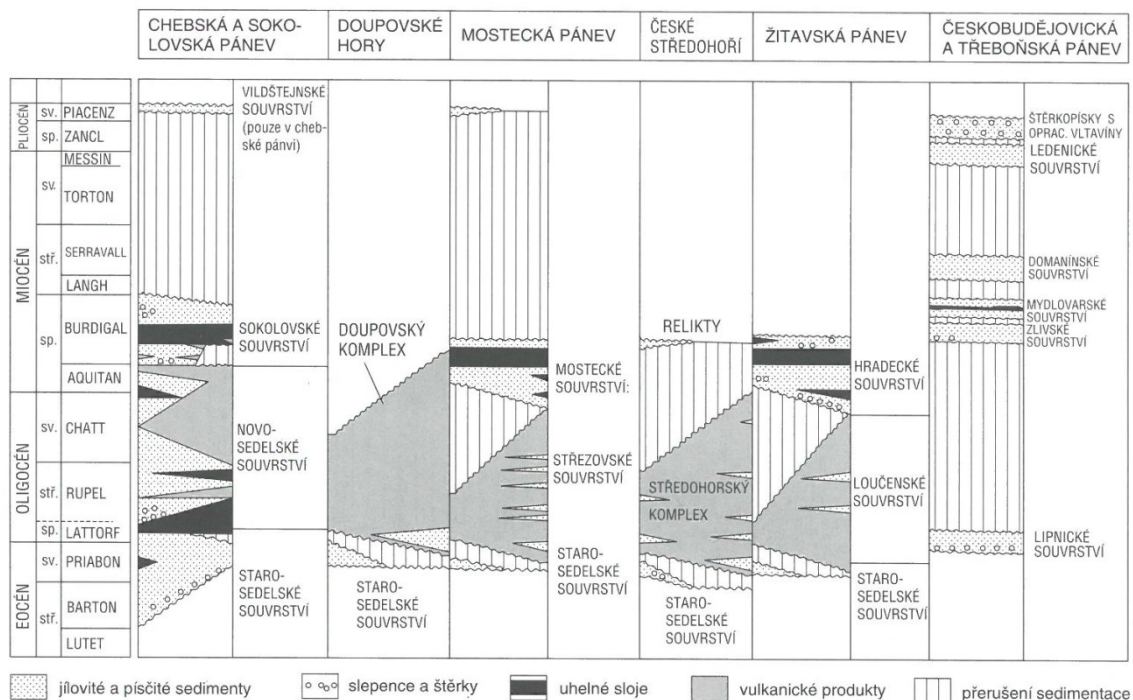
Na Mýtině poblíž Železné hůrky bylo prováděno množství výzkumných prací, mj. geofyzikálních - elektrická rezistivní tomografie, gravitační, magnetické a seizmické průzkumy (Flehsig et al. 2015).

Po ukončení v terciérní vulkanické činnosti se vytváří hnědouhelné souvrství a jeho nadloží jsou cyprisové jílovce, což jsou jílové jezerní sedimenty. Ty dosahují mocnosti 100-

200m. V chebské pánvi pokračovala ještě terciérní sedimentace uložením jílovito-písčitého souvrství v pliocénu.

Chebská pánev je rozdělena na tři menší uhlonosné pánve s rozdílnou mocností terciérních sedimentů. Ta se pohybuje od několika desítek metrů až po 300m. (Květ, 2011)

Jednotlivé stratigrafické vrstvy můžeme vidět na obrázku 2.



Obrázek 2. Stratigrafické schéma hlavních terciérních pánví v Čechách (podle I. Shrbeného et al. 1994, upraveno).

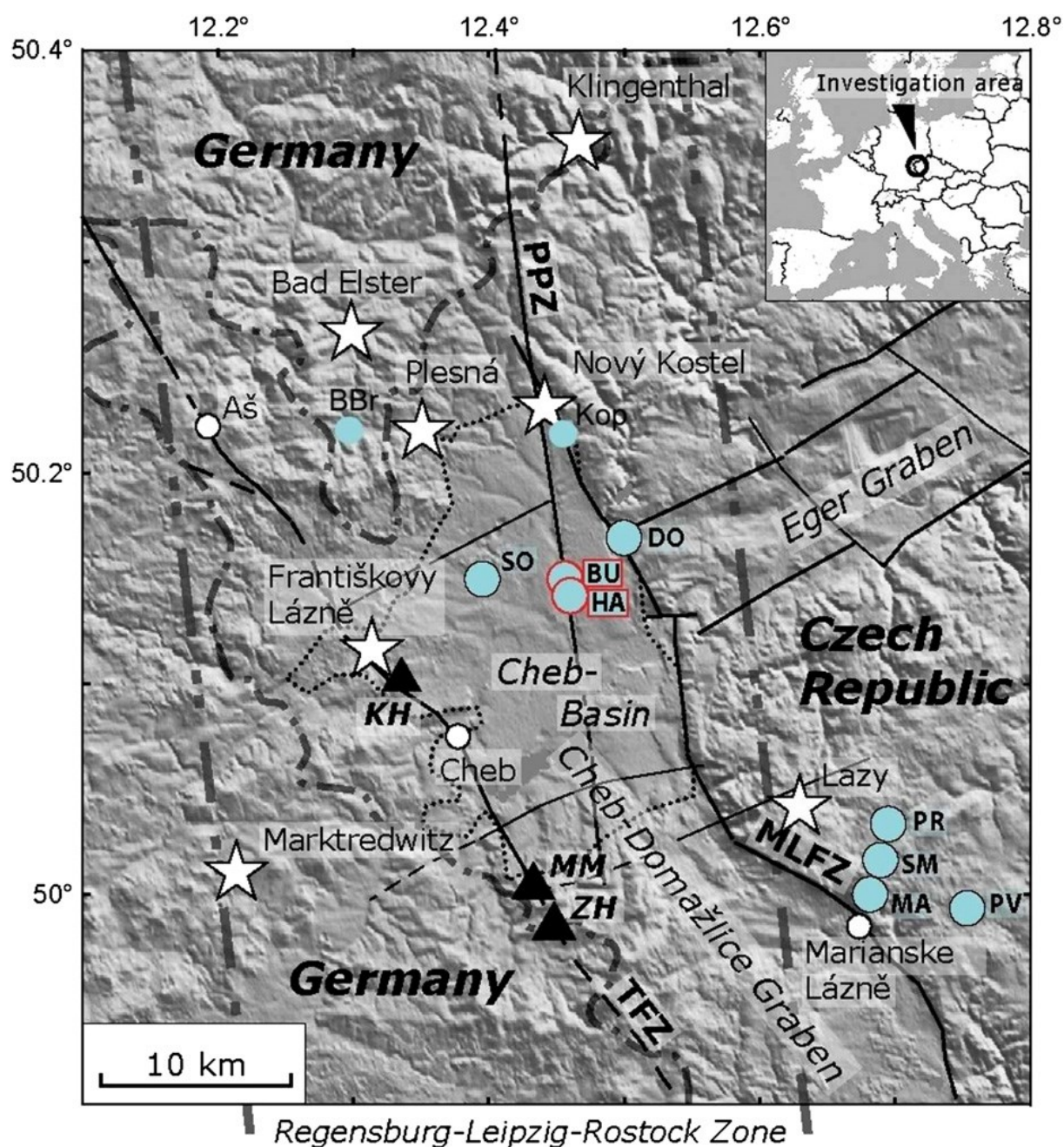
Chebská kotlina se nachází v sz. a v. části pánve, která je ohraničena mladými zlomy. Od Lubů směrem JJV ke Kynšperku nad Ohří se nachází 150 m vysoký morfologický výrazný zlomový svah, který se j. od Ohře ohýbá k JV směrem na kynžvartský zlomový svah a provázen vývěry minerálních vod. (Zoubek et al. 1963)

#### 4.3. Minerální vody a CO<sub>2</sub> v chebské pánvi

Hluboké zlomy přivádějí z podloží hornin kyslíčník uhličitý. Hlavní cesta CO<sub>2</sub> je styčná plocha smrčinské žuly s krystalickou břidlicí, která vede od Nebanic k Hájku a dále na severozápad.

Zvláště střední a severovýchodní části pánve obsahují průlinovou a místně i puklinovou uhličitou vodu. Mineralizace je až 10g/l. (Květ, 2011)

Vložená mapa (obrázek 3.) ukazuje umístění zájmové oblasti ve střední Evropě. Legenda mapy: Černá a čárkovaná čára: poruchové zóny; modré tečky: různé zájmové lokality výskytu CO<sub>2</sub>, mofety Soos (SO), Bublák (BU), Hartoušov (HA), Dolní Častkov (DO), Mariánské Lázně (MA), pramen Smraďoch (SM), obec Prameny (PR), Podhorní vrch (PV) a minerální prameny Kopanina (Kop) a Bad Brambach / Wettingquelle (BBr); trojúhelníky: kvartérní sopky Železná hůrka (ZH), Mýtina Maar (MM) a Komorní hůrka (KH); hvězdy: umístění hlavních ohniskových zón zemětřesení rojů. Zkratky jsou následující: MLFZ, mariánskolázeňská poruchová zóna; PPZ, poruchová zóna Počátky-Plesná; TFZ, tachovská poruchová zóna; a Cheb-Domažlice Graben. (Kämpf et al. 2013)



Obrázek 3. Geologický a konstrukční náčrt (Kämpf et al. 2013).

#### 4.4. Geologické a hydrogeologické poměry chebské pánve

Hydrogeologicky patří oblast chebské pánve z převážné části do povodí Labe. Řeka Ohře odvodňující většinu tohoto území, které je situováno severovýchodně. Pouze některé menší potoky z jihozápadní části odvodňují lokalitu do povodí Dunaje. Celkový odtok vod je velmi proměnlivý a jsou na většině území od 3 do  $10 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  na  $1 \text{ km}^2$  (Květ, 2011).

Chebská pánev je artésky napjatá hydrogeologická pánevní struktura. Velká mocnost a propustnost usazených hornin dávají možnost pro vznik významných zvodnělých kolektorů. Výstup hlubinného oxidu uhličitého je příčinou bohatého výskytu minerálních vod typu kyselky v mnoha místech chebské pánve. (Květ, 2011)

Příčinou soustředění minerálních vod v této oblasti jsou tektonické poruchy (obrázek 4.) sahající do velkých hloubek, tzv. saxonská tektonika jako odezva na alpínské horotvorné procesy v alpsko-karpatiském prostoru v j. a jv. sousedství Českého masívu. Na bázi pánevní sedimentace se mohou vyskytovat solanky, jako produkt aridního klimatu. v pozdním paleozoiku a mezozoiku. Projevy saxonské tektoniky začaly na počátku neogénu a trvají do současnosti. Saxonská tektonika dala vznik oherskému riftu, jako nejvýznamnější tektonické struktury zájmové oblasti.

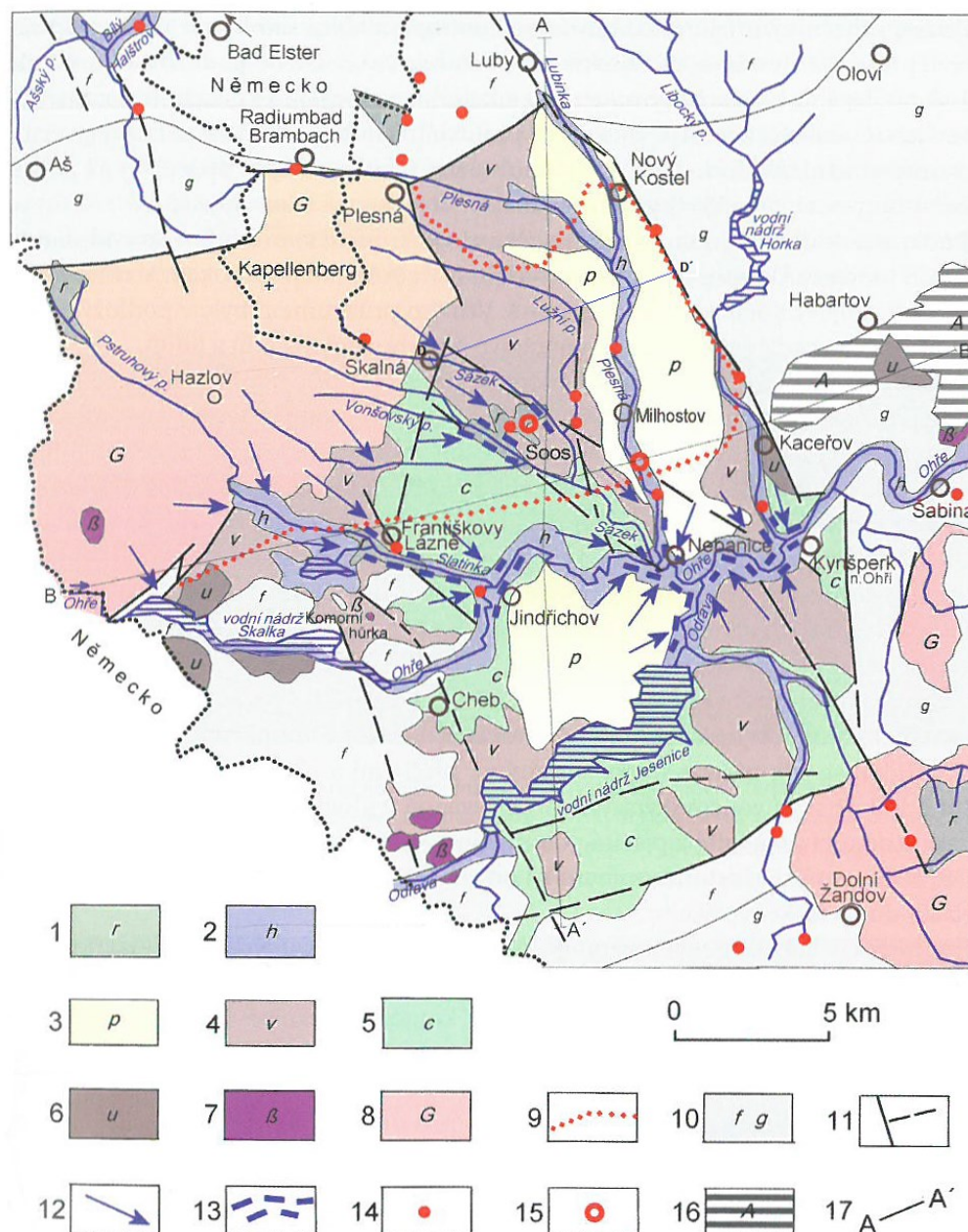
Mezi významné lokality s minerálními vody patří Františkovy Lázně, Soos, Mariánské lázně, studené kyselky v jižní části chebské pánve. V severní části v ašském výběžku najdeme kyselky v Doubravě, Dolních Pasekách, u Plesné a radioaktivní vody u Skalné. Minerální vody se nacházejí těsně za státní hranicí s Německem (Bad Brambach). V Bavorsku se využívají k lázeňským a plnírenským účelům. (Krásný et al. 2012)

Reliéf pánve je převážně plochý s pohybem nadmořské výšky 430-480 m. Krystalinikum na severu pánve tvoří vystupující reliéf Smrčin do výšky 758 m n.m. Na východní straně pánve přecházejí Smrčiny do Krušných hor. Východní ohraničení pánve tvoří krystalinický hřbet. Do východní části pánve zasahují severní výběžky Českého lesa. (Krásný et al. 2012)

Teploty se zde pohybují v průměru  $6^{\circ}\text{C}$  a srážkami 600 mm.

Hlavním tokem chebské pánve je řeka Ohře, které je významnou osou drenáže povrchových a podzemních vod tohoto území. Významnými přítoky jsou z levé strany Slatinka, Sázek, Plesná a pravé strany řeku Odruvu, která je největším přítokem v této oblasti. Na Odruvě je vybudována vodní nádrž Jesenice (obrázek 1.). (Krásný et al. 2012).





Obrázek 4. Hydrogeologické schéma chebské pánve (Krásný et al. 2012, sestavil J. Krásný podle Kolářové a Hrkala et al. 1986, Kolářové, ed. 1987a, Krásného a Jar. Dvořáka 2003, upraveno o řez D-D').

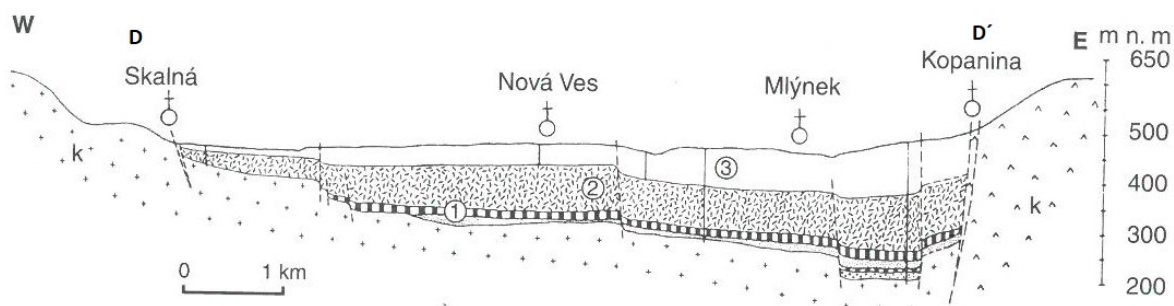
1 – rašeliny, slatiny, 2-4 – svrchní komplex kolektorů: 2 – pleistocenní štěrky a písky údolních niv, většinou překryté holocenními hlínami, 3 – fluvialní štěrky a písky pleistocenního stáří, 4 – vildštejnské souvrství, většinou písky a jíly; 5 – cyprisové souvrství, tvořící spolu s hlavním uhelným souvrstvím (6) mezilehlý komplex izolátorů, 7 – čedičové vyvřeliny, 8 – granitoidy smrčinského masivu (na S) a karlovarského masivu (na JV), 9 – předpokládaná hranice rozšíření smrčinského masivu v podloží chebské pánve, 10 – metamorfity Krušných hor a Slavkovského lesa (f – fylity, g – svory až žuly), 11 – významné zlomy, 12 – hlavní směry proudění podzemních vod (většinou minerálních vod) ve spodním komplexu kolektorů, 13 – hlavní zóny regionální drenáže podzemních vod, 14 – pramen uhličitě vody, 15 – místo soustředěného výronu suchého oxidu uhličitěho, 16 – území postižená intenzivní těžbou hnědého uhlí a antropogenní uloženiny v sokolovské pánvi a okolí, 17 – linie řezů z obrázku 5. a obrázku 6.

Mezi nejstarší pánevní vrstvy patří spodní jílovitopísčité souvrství, které vyplňuje deprese předterciérního reliéfu. Je to především splachový materiál se zvětralého krystalinika, který se vyskytuje v největších mocnostech ve starých proluviálních delt. Lze ho charakterizovat střídáním klastických sedimentů různé zrnitosti od jílu přes šterky a písky různého zpevnění v horizontálních a vertikálních sledech. Maximální mocnost je 75 m (Krásný et al. 2012).

V Podkrušnohoří byl intenzivní neuovulkanické činnost ve starších fázích soustředěna do Doupovských hor a Českého středohoří. V oblasti Chebské pánve se dochovala jen minimálně, což dokládají některé vrty (Krásný et al. 2012), které prokázaly v podloží slojového pásma čedičové výlevy, aglomerátové proudy a polohy tufů a tufitů.

V západní části pánve je hnědouhelná sloj, která je s největší pravděpodobností pokračováním sloje Josef v sokolovské pánvi.

Cyprisové souvrství (obrázek 5.) je spodnomiocénní dosahující mocnosti až 170 m. Skládá se z jílu a jílovců s karbonátovými vložkami a sádrovcovými výplněmi puklin.



Obrázek 5. Geologický profil severní části chebské pánve (podle P. Šantrůčka 1964).

1 – jílovito-písčité sled, váše s uhelnými slojemi; 2 – cyprisové souvrství (spodní miocén); 3 – valdštejnské souvrství (pliocén); k – variské granity a krystalinické podloží pánve.

Po hiátu byla terciérní sedimentace v chebské pánvi ukončena v pliocénu. Poté sedimentovalo valdštejnské souvrství s maximální mocností 120 m, ale je to velmi proměnlivé v této oblasti. Charakteristické je střídání písků a šterků s písčitými a uhelnými jíly i polohami uhlí. Spodní oddíl jsou vonšovské vrstvy s převážně jílovitým vývojem. Svrchní oddíl tvoří střídání jílovité a písčité polohy s novoveskými vrstev.

Při okraji chebské pánve v západní části zde vystupují produkty subrecentního vulkanického aktivity, pliocenního stáří až pleistocenního stáří. Jde o elevaci Komorní hůrka JZ od Františkových lázní a Železná hůrka v jižní části. Komorní hůrka byla v minulosti středem pozornosti dvou skupin neptunistů a plutonistů. Neptunisté jsou zastánci názoru, že

veškeré horniny vznikly z vodních roztoků. Plutonisté zastávali názor vzniku hornin z podpovrchových magmatických činností.

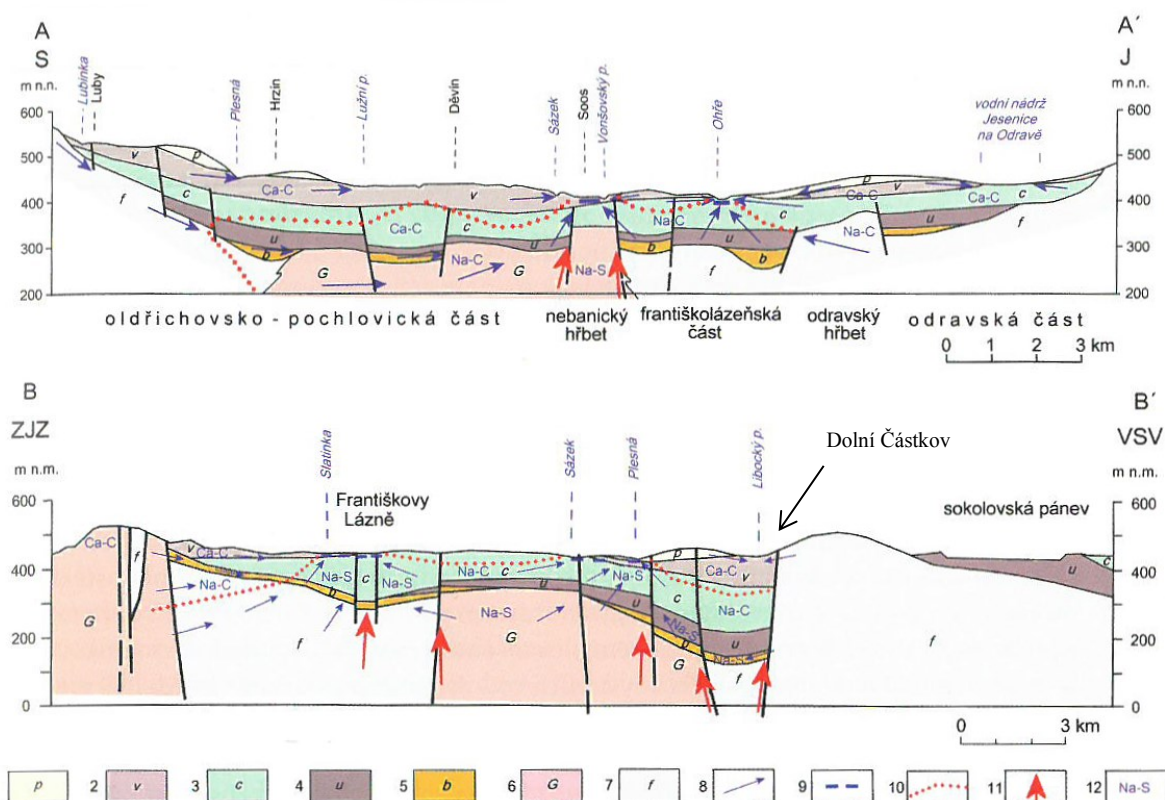
Terciérní uloženiny jsou překryty kvartérními o mocnostech až 10 m, především ve východní části pánve. Jsou to písky a šterky s různým obsahem jílové příměsi a různého vytřídění v závislosti od okraje pánve. Největší mocnosti dosahují v soutokové oblasti Ohře a Odavy.

Významné jsou výskyty slatiny v širším okolí vývěrů minerálních vod, zvláště v okolí Františkových Lázní a v Soosu.

Okolí a podloží je na severu pánve tvořeno smrčinským žulovým plutonem. Na jihu je metamorfní plášť smrčinského plutonu z arzbergského a chebsko-dyleňského krystalinika, tvořené především fylity, přecházející k jihu v dvojslídne a biotitické svory. Na východním okraji se nachází svitavské krystalinikum s převahou muskovitických a dvojslídnych svorů a chloriticko-biotitických fylitů. Do jihovýchodního okraje pánve proniká metamorfní komplexy žulové těleso u Dolního Žandova.

Chebská pánev vznikla v komplikované pozici na křížení oherského riftu směru JZ-SV až ZJV-VSV s chebsko-domažlickým příkopem směru SZ-JV až SSZ-JJV.

Řez B-B' (obrázek 6.) prochází územím v blízkosti Dolního Částkova, kde proběhlo moje měření.



Obrázek 6. Hydrogeologické řezy chebskou pánví (Krásný et al. 2012, podle Kolářové a Hrkala et al. 1986, Kolářové, ed. 1987a, upraveno).

a) ve směru S-J od Lubů přes Soos k j. okraji chebské pánve,

b) ve směru ZJZ-VSV přes Františkovy Lázně k v. tektonickému okraji chebské pánve.

1 – 2: svrchní komplex kolektorů: 1 – fluviální štěrky a písky pleistocenního stáří, 2 – vildštýnské souvrství, většinou písky a jíly; 3-4: mezilehlý komplex izolátorů: 3 – cyprisové souvrství, 4 – hlavní uhelné souvrství, v sokolovské pánvi postiženo intenzivní těžbou hnědého uhlí; 5 – bazální jílovitopísčité souvrství, 6 – granitoidy smrčinského masivu, 7 – metamorfity, většinou fylity, 8 – hlavní směry proudění podzemních vod, 9 – hlavní zóny drenáže podzemních vod, 10 – horní hranice rozšíření uhličitých vod, 11 – předpokládaná místa výstupu  $\text{CO}_2$  z podloží pánve, 12 – převládající chemické typy podzemích (minerálních) vod: Ca-C =  $\text{Ca-HCO}_3$ , Na-C =  $\text{Na-HCO}_3$ , Na-S =  $\text{Na-SO}_4\text{Cl}$ .

Pod Chebskou pánví je značná neotektonická aktivita v neogénu a kvartéru. V současnosti zde probíhají zemětřesné roje, s největší aktivitou při SV hranici Chebské pánve v okolí Nového Kostela, podél mariánskolázeňského zlomového pásma. (Krásný et al. 2012), (Chlupáč et al. 2011)

V současné době je nevyšší koncentrace zemětřesných rojů a odplynování  $\text{CO}_2$  v oblasti Nového Kostela. Zemětřesné roje jsou shluklé v malém prostoru a trvají jen určitou dobu. Ohniska se nacházejí v hloubkách 6 až 12 km v podloží pánve (Fischer et al. 2014).



Další informace o zemětřesných aktivitách a CO<sub>2</sub> zkoumané lokace lze nalézt v pracích Fischer et al. 2016, Bankwitz et al. 2003 a Heinicke et al. 2018.

Výskyt oxidu uhličitého je významným fenoménem geologických a hydrogeologických poměrů chebské pánve, je dokladem stále probíhajících neovulkanických procesů, a jeho měření tak může poskytovat významné informace pro geologické a geofyzikální regionální výzkumy, a navíc dává vznik cenným minerálním vodám typu studených kyselek, se kterými se můžeme setkat v různých místech chebské pánve i v jejím okolí (nejvýznamnější prameny kyselek jsou využívány ve Františkových Lázních).

Vystupující oxid uhličitý vulkanického původu je dokladem dozívajících neovulkanických procesů v zájmové oblasti, primárně vázaných na tektonickou strukturu oherského riftu a související tektoniky kolem (paralelní i příčně probíhající). Jednou z nejvýznamnějších poruchových zón je mariánskolázeňský zlom, který vytváří východní tektonické omezení chebské pánve vůči sousedícímu krystaliniku, podél něhož se soustřeďují hlavní dozvuky neovulkanických procesů (seismická aktivita, výrony oxidu uhličitého, výskyty pramenů kyselek), jak je dokumentováno v předchozím textu.

## **5. Emanace plynů a plyny v podzemních vodách**

### **5.1. Plyny v podzemních vodách**

V podzemních vodách se vyskytují rozpuštěné plyny, které se do nich absorbují díky přírodním procesům v zemské kůře. Rozeznáváme celkem tři hydrochemické tóny odstupňovaných od povrchu směrem do hloubky litosféry. První zóna je okysličovací, vody obsahují ve větší míře dusík a kyslík. Ve druhé zóně kyslík chybí a začínají se vyskytovat plyny biochemického původu např. CH<sub>4</sub>, či H<sub>2</sub>S. Tato zóna se nazývá redukční. Ve třetí metamorfní zóně se v podzemní vodě nachází převážně CO<sub>2</sub>, který se vytváří metamorfní přeměnou hornin. (Krajča, 1977)

Geodynamickými procesy jsou úzce spjaty s biochemickými procesy. O tom popisuje víc studie Bussert et al. 2017.

Plyny se klasifikují podle různých kritérií jako je geneze plynů, složení plynů a tlakového režimu plynů. Plynotvorné procesy můžeme dělit podle původu plynů na biochemické, chemické a radioaktivní. V přírodních vodách se obvykle nevyskytují tyto procesy jednotlivě, ale většina probíhá minimálně ve dvou procesech.

Složení plynů v podzemních vodách lze klasifikovat mnoha způsoby. Např. podle kyselosti plynů nebo uhličitosti.

Klasifikovat tlak plynů lze k příslušné teplotě. Výpočtem lze zjistit parciální tlak složky, kritický bod, tlak nasycení, atd. (Krajča, 1977)

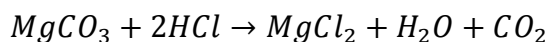
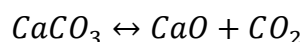
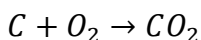
## 5.2. CO<sub>2</sub>, vlastnosti, výskyt

Oxid uhličitý (dříve kysličník uhličitý) CO<sub>2</sub> se nachází především v atmosféře. Zde se dostává z dýchání živočichů, rozkladem organických látek a hořením látek uhlikatých. Může také vyvěrat ze země na určitých místech. Také je rozpuštěn v přirozených vodách, především v minerálních vodách. Velká množství kysličníku uhličitého jsou vázána v uhličitanech.

Čistý vzduch obsahuje přibližně 0,03% CO<sub>2</sub> ( $p(\text{CO}_2) = 30\text{Pa}$ ). V těchto podmínkách se v destilované vodě rozpustí při teplotě 10°C asi 0,7 mg·l<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, při teplotě 25°C asi 0,44 mg·l<sup>-1</sup>.

Při teplotě 20°C a tlaku 10,3 kPa je bezbarvý a slabě kyselého zápachu. Je 1,5 krát těžší než vzduch. Plyn je nejedovatý, ale nedýchatelný. Při zvyšující se teplotě jeho schopnost rozpouštět se ve vodě ubývá, až se voda dostane k bodu varu, tak je úplně odstraněn.

Vznik oxidu uhličitého nastává spalováním uhlíku v přebytku kyslíku, rozkladem uhličitánů žíháním nebo kyselinami, alkoholickým zkvašování cukrů a při rozkladu odumřelých rostlin a živočichů.



Oxid uhličitý se využívá při výrobě sody, močoviny, cukrovarnictví k saturaci cukerné šťávy, k chlazení, hubení škůdců, uchovávání ovoce apod. Tuhý oxid uhličitý (suchý led) se rovnou vypařuje (sublimuje).

Soli kyseliny uhličitě jsou karbonáty (uhličitany) (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, apod.) a hydrogenuhličitany (NaHCO<sub>3</sub>, Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, apod.). Alkalické uhličitany obojího druhu jsou rozpustné ve vodě. (Pavelka, Schütz, 1974), (Housecroft, Sharpe, 2012), (Fláková, Ženišová, Seman, 2010)

Suchý led lze využít k tryskání při plazmovém rozprašování, aby se zlepšila charakterizace mikrostruktury a pevnost hydroxyapatitových povlaků. (Dong et al. 2017)

Oxid uhličitý rozpuštěný ve vodě se v hydrochemii nazývá volný oxid uhličitý (H<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>\*). Přepočty hmotnostních koncentrací na látkové a opačně lze použít vztahy:

$$1 \text{ mmol} = 44,01 \text{ mg CO}_2 = 60,01 \text{ mg CO}_3^{2-} = 61,017 \text{ mg HCO}_3^- = 62,025 \text{ mg H}_2\text{CO}_3$$

Volný oxid uhličitý je obsažen ve všech přírodních vodách, jejichž hodnota pH nepřevyšuje 8,3. V atmosférických vodách odpovídá koncentrace parciálnímu tlaku  $\text{CO}_2$  v atmosféře. V povrchových vodách je koncentrace v desetinách až desítkách  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , výjimečně přes 10  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Ve stojatých povrchových vodách nastává k vertikální stratifikaci koncentrace volného  $\text{CO}_2$  vlivem fotosyntetické asimilace a disimilace planktonu. (Pitter, 2009)

Lokálně významným zdrojem oxidu uhličitého jsou vulkanické procesy, přivádějící plyn z větších hloubek zemské kůry k povrchu, při využití vhodných propustných preferenčních zón (obvykle tektonické struktury hlubšího dosahu).

### 5.3. Způsob vzorkování a analýzy

K měření množství oxidu uhličitého nejčastěji používáme infračervenou analýzu. Je založena na principu, že oxid uhličitý pohlcuje velmi intenzivně světlo s přesně danou vlnovou délkou. Přístroj obsahuje dvě nádoby. V první je měřený vzorek a v druhé je kalibrační vzorek se známým obsahem oxidu uhličitého. Taktéž se zde nachází detektor infračerveného záření. Kalibrační a měřený vzorek se střídá v pozici mezi zdrojem a detektorem. Míra absorpce infračerveného záření je úměrná množství oxidu uhličitého ve vzorku. Díky srovnání s kalibračním vzorkem můžeme zjistit absolutní hodnotu množství oxidu uhličitého ve vzduchu. Při měření je nejdůležitější zajistit, co nejstabilnější podmínky, jako je třeba teplota, tlak, vlhkost vzduchu.

Globální měření oxidu uhličitého v atmosféře se provádí pomocí družice, která obíhá Zemí ve výšce 800 km čtrnáctkrát za den, nad stejným místem za stejných podmínek obíhá za 35 dní. Družice má na palubě deset přístrojů, které zaznamenávají stav okolí. Pro nás je důležitý spektrometr SCIAMACHY, který zkoumá oxid uhličitý a další plyny v atmosféře. (Vafek, 2016)

K dispozici jsou také chemické laboratorní metody k měření, které jsou ale méně přesné a náročné na provádění.

Získávání vzorku oxidu uhličitého z ledu, který dokládá vývoj oxidu uhličitého v průběhu geologické historie na Zemi (vzorky ze zamrzlých bublin vzduchu v ledu). (Wagner, 2009)

Pro měření okamžité koncentrace jsou jednoduché a spolehlivé detenční trubičky (obrázek 7.). Měření je provedeno pomocí mechanické nebo elektrické pumpy. Vzduch se prosaje trubičkou, kde dojde k chemické reakci detenční vrstvy trubičky s  $\text{CO}_2$  k jejímu zbarvení. Délka zbarvení odpovídá koncentraci  $\text{CO}_2$ .



Obrázek 7. Detekční trubička (Vafek, 2016). Pro měření koncentrace  $\text{CO}_2$ , před měřením a po měření.

Existují přenosné a stacionární elektronické přístroje pro měření  $\text{CO}_2$ . Přístroje pracují kontinuálně a s aktuální měrnou koncentrací. Výstup dat je v číselné podobě na displeji. Měřený signál se předává analogových veličinách nebo komunikačních protokolech. Čidla těchto přístrojů pracují na třech hlavních principech: optický IR (infračervený) senzor, elektrochemický senzor a polovodičový senzor. (Vafek, 2016)

## 6. Vlastní měření $\text{CO}_2$

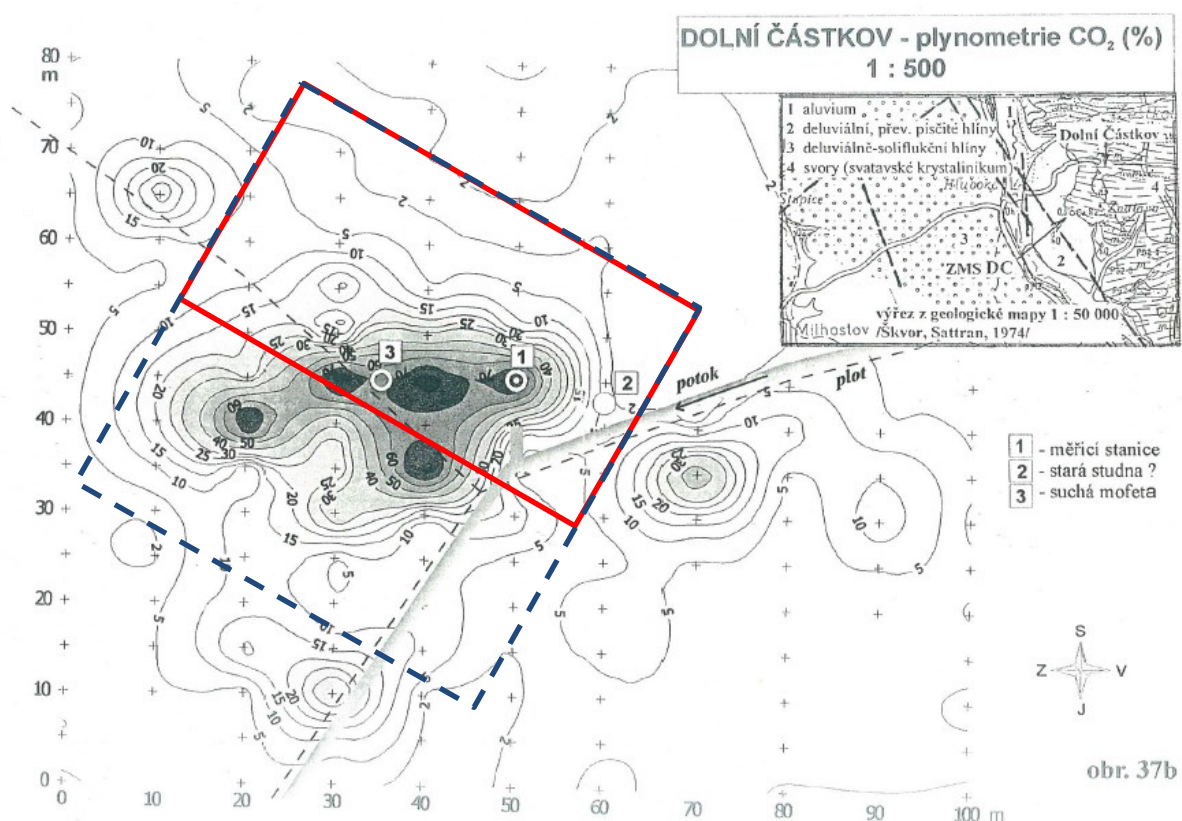
### 6.1. Krátký popis projektu

Koncept výstupu oxidu uhličitého vychází z představy vertikálního vzestupného proudění plynu z podloží chebské pánve při využití vhodných propustných tektonických struktur (zlomy, pukliny) v krystalinických podložních horninách. Při průchodu zvodněnými kolektory chebské pánve v propustných písčitých sedimentech dochází k rozpouštění oxidu uhličitého do vody a vzniku vod typu kyselky. Kritérium označení vody jako kyselky je podle lázeňského zákona (zákon č. 164/2001 Sb.) více než 1 gram rozpuštěného oxidu uhličitého na litr vody. V případě rychlého a masivního výstupu velkých množství oxidu uhličitého po preferenčních výstupních cestách (otevřené zející vertikální pukliny, hrubozrnné propustné pánevní sedimenty apod.) dosahuje oxid uhličitý rychle povrchu terénu (aniž se stačí zcela rozpustit ve vodě), a přes půdní vrstvy se odvětrává do atmosféry. Dalším zdrojem oxidu uhličitého unikajícího do atmosféry je plyn původně rozpuštěný v podzemní vodě, který se postupně uvolňuje a migruje také směrem k povrchu terénu, případně uniká v místech vývěrů kyselky. Dříve provedená měření obsahu oxidu uhličitého v půdním vzduchu (obrázek 8.) ukazují na plošné anomálie, evidentně související s různými nehomogenitami v půdních vrstvách, které usměrňují výstup  $\text{CO}_2$ . Dalšími možnými výstupními cestami plynu mohou být antropogenní podpovrchové zásahy porušující půdní vrstvy při povrchu terénu – vrty, sondy, studny, výkopy, zářezy, stavby apod. Je proto správným opatřením, že všechny tyto podpovrchové zásahy jsou v chebské pánvi (v rozsahu ochranných pásem Františkových Lázní) významně regulovány, a jsou možné jen po předchozím souhlasu Českého

inspektorátu lázní a zřidel Ministerstva zdravotnictví, aby nedošlo ke změnám v přírodním režimu proplyněné hydrogeologické struktury chebské pánve.

Lokalita (obrázky 10., 11., 12. a tabulka 2.), ve které se provádělo měření je asi 800 m JJZ od Dolního Částkova v nadmořské výšce 480 m n. m. Dolní Částkov spadá do katastrálního úřadu Hluboká, která je částí obce Milhostov, okres Cheb, kraj Karlovarský.

Předmětem zkoumání bylo zjistit výrony  $\text{CO}_2$  ze země v detailnějším měřítku s hustší sítí měřených bodů. Jako předloha posloužila starší mapa měření území, jak můžeme vidět na obrázku 8. (Hron J., Škuthan B., 2006). Původní plán byl zkoumat oblast o rozměrech 50 x 50 metru, ale v důsledku nepříznivého počasí bylo zkoumáno 50 x 27,5 metru.



Obrázek 8. Dříve provedená měření (Hron J., Škuthan B., 2006). Červeně zvýrazněna oblast zkoumané lokality, modře plánovaná oblast zkoumání.

Měření bylo prováděno přístrojem Meopta DI-2 654-03 (obrázek 9.).



Obrázek 9. Přístroj Meopta DI-2 654-03 (foto Jan Pavlát).

## 6.2. Nejblíží výskyt proplyněných minerálních vod

V nejkratší vzdálenosti od zkoumané lokality se nachází minerální pramen Dolní Pochlovice, který je 4 km na JJV. Je to zděná pramenní jámka s výtokem kyselky v nadmořské výšce 425 m. Pramen je v aluviálních náplavách Lobečského potoka. Je zde malá mocnost jílovo-písčitého souvrství. Podloží kvartérních sedimentů jsou pravděpodobně cypřisové jíly. V okolním terénu můžeme zaznamenat úniky  $\text{CO}_2$ . Využíván je pro pitné účely. Pozorování bylo od června 1957 do prosince 1959 v rámci hydrogeologického výzkumu M. Kolářovou. Voda je čirá, bez zápachu, příjemné, osvěžující chuti. Teplota se pohybuje od  $6^\circ$  do  $12^\circ\text{C}$  v závislosti na ročním období, pH kolísá mezi 4-4,5.  $\text{CO}_2$  je 1200-1500  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Vydatností 0,08  $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Další podrobnosti k minerální vodě jsou k dispozici v tabulce 1. (Kolářová, Myslíl, 1979)



DOLNÍ POCHLOVICE

situace: obr. 14, bod 1

datum odběru: 26.8.1974

druh záhytu: jímka

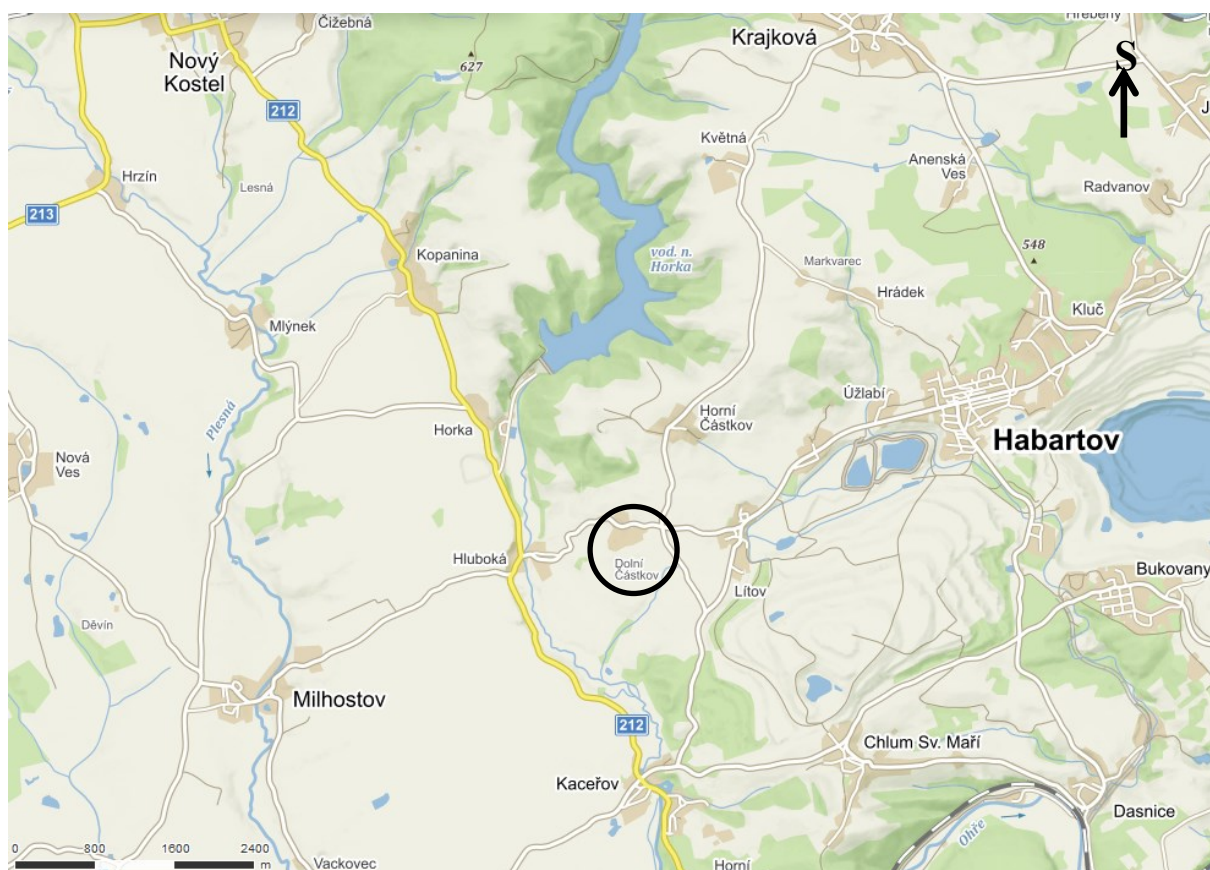
hloubka: ~ 1,2 m

vydatnost: 0,08 l.s<sup>-1</sup>

způsob využití: pitné účely

teplota: 7 °C      pH: 4,1				HBO <sub>2</sub> :					
CO <sub>2</sub> : 1200,0 mg.l <sup>-1</sup>				SiO <sub>2</sub> : 14,00 mg.l <sup>-1</sup>					
H <sub>2</sub> S:				celková mineralizace: 58,54 mg.l <sup>-1</sup>					
kationty	mg.l <sup>-1</sup>	mval.l <sup>-1</sup>	mval %	anionty	mg.l <sup>-1</sup>	mval.l <sup>-1</sup>	mval %		
Li <sup>+</sup>	0,02			Cl <sup>-</sup>	5,32	0,15	20,53		
Na <sup>+</sup>	4,50	0,19	25,67	Br <sup>-</sup>					
K <sup>+</sup>	1,92	0,05	6,76	J <sup>-</sup>					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>				F <sup>-</sup>	0,04	0,002			
Mg <sup>2+</sup>	0,60	0,05	6,76	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,6	0,01	0,01		
Ca <sup>2+</sup>	9,02	0,45	60,81	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,00	0,02	0,03		
Mn <sup>2+</sup>	0,02			HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,07	0,001			
Fe <sup>2+</sup>	0,05			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	35,38	0,58	79,43		
součet	16,13	0,74	100,00	součet	42,41	0,763	100,00		
Be 0,11 μg.l <sup>-1</sup>		Rb μg.l <sup>-1</sup>		Zn 20,00 μg.l <sup>-1</sup>		Al μg.l <sup>-1</sup>			
Ba 50 μg.l <sup>-1</sup>		Co 1,00 μg.l <sup>-1</sup>		Pb 2,00 μg.l <sup>-1</sup>		As 52,50 μg.l <sup>-1</sup>			
Sr 30 μg.l <sup>-1</sup>		Ni 1,50 μg.l <sup>-1</sup>		Cu 3,20 μg.l <sup>-1</sup>		U μg.l <sup>-1</sup>			
V μg.l <sup>-1</sup>		Mo μg.l <sup>-1</sup>		Ag μg.l <sup>-1</sup>		Ra μg.l <sup>-1</sup>			
datum	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	He	H <sub>2</sub>	Ar	CH <sub>4</sub>	celkové množství /ml.l /
odběru	obj. %								
Palmerovy indexy v úpravě Gazdy A <sub>2</sub> 67,13 kalcium-bikarbonátový typ				klasifikace podle Alekina C <sub>I</sub> <sup>Ca</sup>		klasifikace podle Ivanova a Nevrajeva B.a.I.1			
typ vody podle ČSN 86 8000: studená, prostá hydrouhličitano-chloridová vápenato-sodná kyselka									
laboratoř: ÚÚG Praha					zdroj informací:				
číslo rozboru: Af 9969					M. Kolářová - J. Dvořák /1975/				

Tabulka 1. Rozbor pramene v Dolních Pochlovicích (M. Kolářová, J. Dvořák, 1975).



Obrázek 10. Dolní Částkov (mapy.cz)



Obrázek 11. Lokalita průzkumu (mapy.cz).





Obrázek 12. Lokalita průzkumu v detailu (mapy.cz).

souřadnice [x, y]	souřadnice GPS
[0, 0]	50.1670000N, 12.4971306E
[0, 50]	50.1672200N, 12.4965406E
[27.5, 50]	50.1669867N, 12.4963258E
[27.5, 0]	50.1667539N, 12.4969442E

Tabulka 2. Souřadnice GPS pro měřenou lokalitu (měřeno GPS: Garmin Oregon)





*Obrázek 12. Odběr plynu v terénu (foto J. Vlček).*

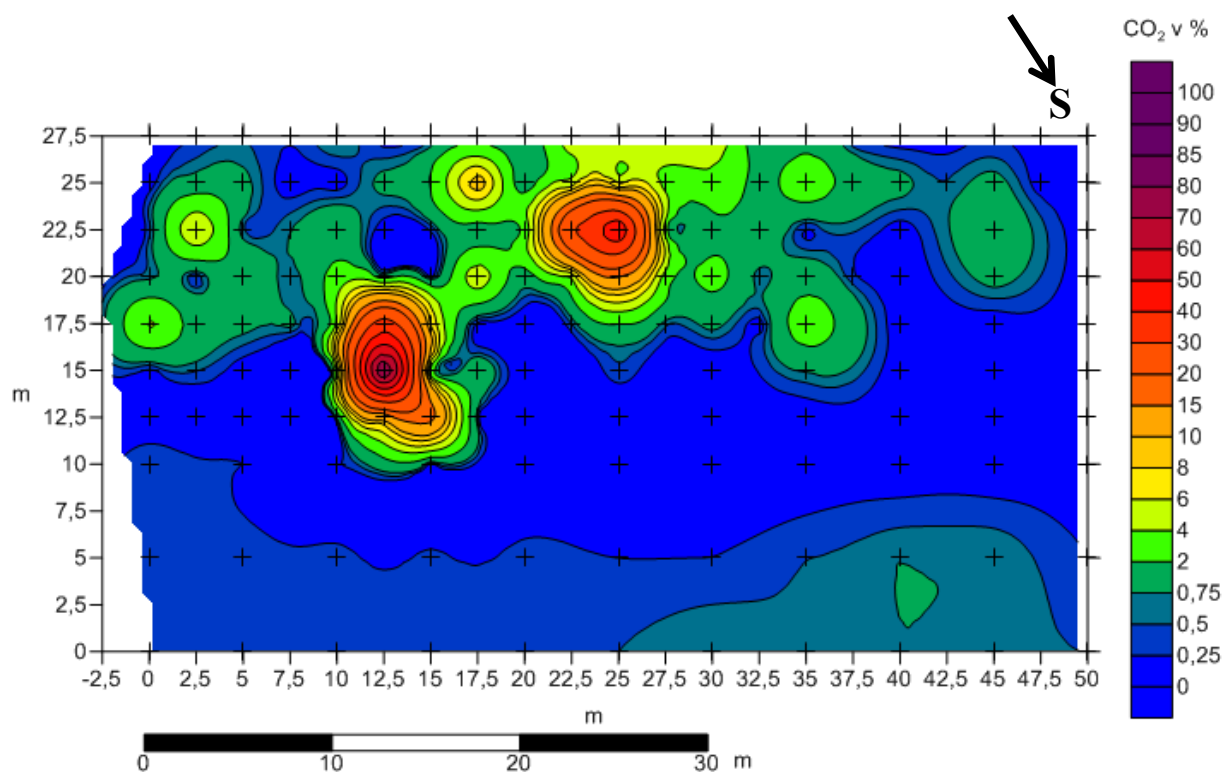




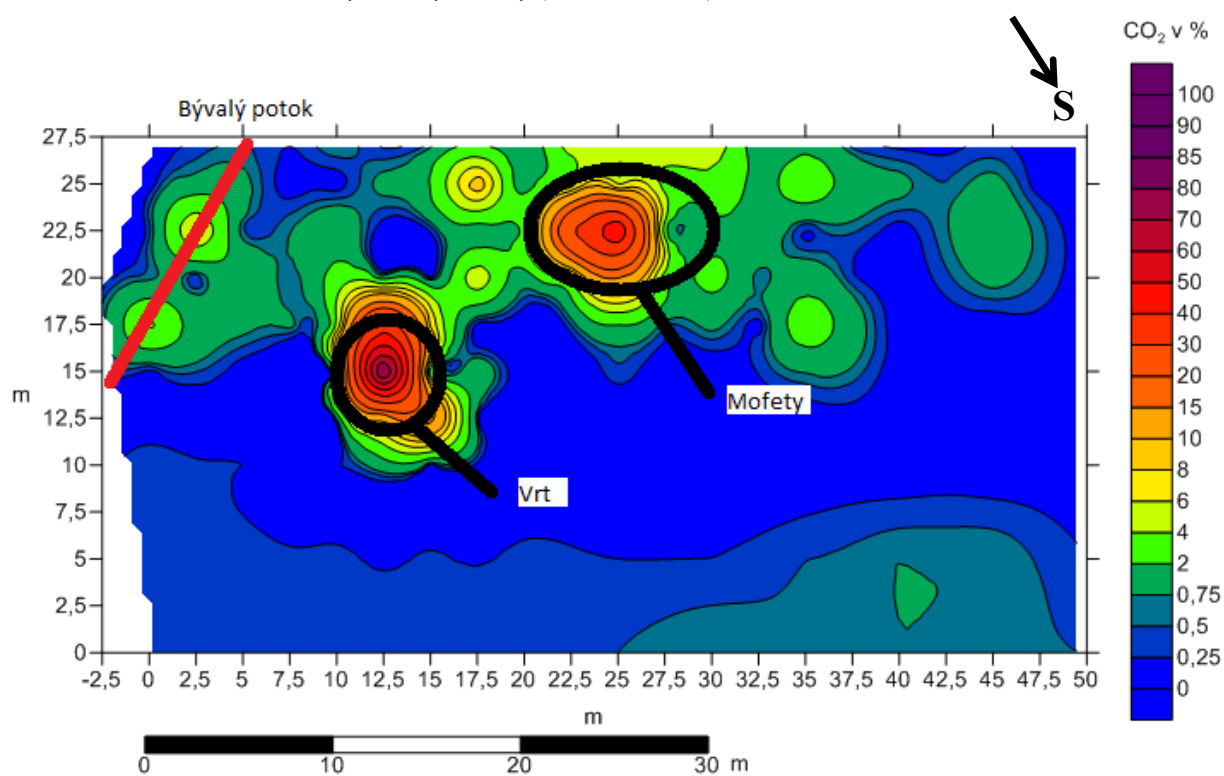
*Obrázek 13. Odběr plynu v terénu, v pozadí vrt obsypaný štěrkem (foto J. Vlček)*

### 6.3. Měření, vyhodnocení

Měření probíhalo v pravidelné síti s krokem 5 nebo 2,5 m. Záleželo na prostupnosti terénu a změnách  $\text{CO}_2$ . Odběr vzduchu (obrázek 12. a 13.) z půdy probíhal v průměrné hloubce 20 cm pod povrchem. Přístroj byl zabodnut ručně, v případě tvrdšího podloží byla zabita externí tyč do požadované hloubky, posléze vytažena a do otvoru byl vložen přístroj k odběru dat. K dispozici jsem měl dva přístroje, které jsem měnil v závislosti na koncentraci  $\text{CO}_2$ . Jeden ukazoval 0-100% výskytu  $\text{CO}_2$  a druhý pro menší koncentrace k přesnějšímu měření 0-10%.



Obrázek 14. Naměřená data s vyznačenými body (J. Pavlát, 2018)



Obrázek 15. Data s vyznačenými anomáliemi a jejich interpretací (J. Pavlát, 2018)

## 7. Výsledky a diskuse

Lokalita vlastního měření u Dolního Částkova byla vybrána jednak s ohledem na pozici u mariánskolázeňské poruchové zóny a jednak bylo využito i území s dřívějším měřením oxidu uhličitého (obrázek 8.). Výsledky plynometrických měření CO<sub>2</sub> ukazují na nehomogenitu v horninovém prostředí, které mohou být různého původu. Na obrázku 15. jsou vidět velmi významné rozdíly v relativní koncentraci oxidu uhličitého v půdním vzduchu. Byly zjištěny hodnoty ve velmi širokém rozptýlu 0-85 %. Je pravděpodobné, že koncentrace oxidu uhličitého v půdním vzduchu (v měřené hloubce 20 cm) závisí na několika faktorech:

- Litologické nehomogenity přípovrchových vrstev zemin a půd. Propustnější (tj. hrubozrnnější) vrstvy umožňují lepší migraci plynu k povrchu terénu. Např. v severní části měřené plochy se nachází lehké zvýšení CO<sub>2</sub> pravděpodobně v závislosti na výskytu větších balvanů a absence jílovitých zemin (které naopak převažují ve střední části měřené plochy s naměřenými minimálními hodnotami).
- Morfologie terénu ovlivňuje celkovou mocnost kvartérního pokryvu a obecně nesaturované zóny nad hladinou podzemní vody. Menší mocnost pokryvných vrstev zemin znamená snadnější (a obvykle i rychlejší) výstup plynu k povrchu terénu. Ve východní části území byly zvýšené anomálie naměřeny v korytě aktuálně vyschlého potoka, který představuje snížení okolního terénu o cca 2 metry; ukazuje se tak, že snížený terén vykazuje zvýšený únik. Toto ale jistě neplatí všude, pokud v terénních sníženinách převažují jemnozrnné málo propustné sedimenty (např. splachového původu), zvýšené hodnoty nejsou detekovány.
- Zvýšené úniky nalezneme i v okolí mofet, jako soustředěných vývěrů oxidu uhličitého, případně v okolí pramenních vývěrů vod s vysokým množstvím rozpuštěného oxidu uhličitého. Tyto vývěry jsou pravděpodobně vázány na hlubší preferenční propustné cesty propojující povrchové vrstvy s hlubšími migračními cestami v pánevním prostoru a dále i do podloží pánve. Jde tedy o místa umožňující intenzivnější pohyb médií napříč mocným vertikálním sledem pánevních sedimentů; vesměs však půjde o geometricky velmi složité výstupní cesty využívající propojení různých geologických nehomogenit. V měřené lokalitě byl tento aspekt potvrzen v blízkém okolí suchých mofet v jižní části území (druhá nejvyšší změřená anomálie, relativní obsah oxidu uhličitého až 50 %). Výsledky měření ukazují, že plyn kromě soustředěného vývěru ještě uniká i v jistém okolí mofety, v závislosti na propustnosti půdních vrstev.

- Antropogenní porušení mělkých půdních vrstev může vytvořit preferenční cestu úniku oxidu uhličitého nahromaděného ve větších hloubkách pod terénem. Vyšší koncentrace oxidu uhličitého lze tak najít v různých sondách, vrtech, studnách, výkopech, rýhách apod., často v přímé závislosti na hloubce těchto aktivit. V měřené ploše byl tento aspekt potvrzen v blízkém okolí průzkumného vrtu, jehož výstroj je obsypána štěrkem (viz obrázek 13.). V tomto místě byly i nejvyšší zjištěné koncentrace plynu, až 85 %, viz nejvyšší anomálie na obrázku 14. Je zajímavé, že tato anomálie se neomezuje jen na nejbližší okolí vrtu, ale sahá až několik metrů do jeho okolí. Je proto možné, že vrt přivádí zvýšené množství plynu blíže povrchu, kde se pak prostřednictvím štěrkového obsypu rozptyluje do okolních propustných zemin, difuzně se rozptyluje v horninovém prostředí a odvětrává se do atmosféry v poměrně velké ploše několika čtverečních metrů kolem vrtu. Možná by zde bylo zajímavé měření zopakovat s ještě menším krokem vzdálenosti (např. po jednom metru), s paralelním zjištěním propustnosti nebo zrnitosti zemin v plynometrických sondách, za účelem identifikace mikropreferenčních zón v okolí vrtu. V žádném případě ale nelze předpokládat, že každý takovýto zásah do horninového prostředí (jako vrty a sondy) znamená existenci preferenční zóny výstupu plynu. Např. ve východní části měřené plochy poblíž koryta vyschlého potoka se nachází stará studna, která je nefunkční, zasypaná. V jejím okolí byly zjištěny jen nepatrně zvýšené hodnoty (tmavozelená barva na obrázku 14. a 15.). Riziko, že se tyto vrty a sondy stanou místem zvýšené migrace plynu z hlubších horninových vrstev, tak jistě souvisí s jejich lokalizací (riziko omezuje umístění v málo propustných horninách, kde se nevyskytují zvýšené koncentrace plynu) a především s jejich správnou plynotěsnou technickou konstrukcí. Ta by měla být v daném území chebské pánve standardně požadována ve všech případech; u větších a hlubších zemních prací není zanedbatelné riziko regionálního ovlivnění tlakových poměrů chebské pánve a ohrožení významných vývěrů plynu i proplyněných vod.

Ještě mohu upozornit na zajímavé srovnání mých výsledků z měřené lokality (obrázek 14.) s výsledky dřívějšího průzkumu (obrázek 8.). Místa anomálií byla v zásadě potvrzena ve stejných místech a dobře se shodují i maximální naměřené hodnoty. Odlišnosti, které ukazují obrázky 14. a 8., jsou tak pravděpodobně dány různě velkým krokem měření – předchozí měření zahrnující větší plochu mělo vzdálenost jednotlivých sond 10 m, zatímco v mém případě (menší měřená plocha zaměřující se na místa dříve zjištěných anomálií) to bylo méně,

2,5 m, v severní části 5 m. Porovnání obou obrázků dokladuje projev měřítkového efektu prováděných měření, kterému lze připsat identifikované rozdíly:

- Logické centrum anomálie v místě suché mofety podle nových měření
- Větší plošný rozsah anomálie kolem průzkumného vrtu na základě nových měření
- Přesnější omezení anomálií vůči minimálnímu pozadí bylo dáno větší přesností měření (2 % ve starším měření oproti 0,25% nových měření)

Kromě měřítkového efektu nelze zcela vyloučit ani vliv mikrozmen v propustnosti půdních vrstev, které by se mohly projevit rozdílnými výsledky i velmi blízko umístěných sond – k této hypotéze ale nemám dostatek údajů k ověření. Omezení tohoto vlivu by se ale mohlo dosáhnout volbou větší hloubky měřených sond (např. 0,5 – 1 m). Dalším vlivem, který by mohl hrát roli, je změna tlakových poměrů v době obou měření (jak atmosférický tlak, tak úroveň hladin podzemní vody, případně kolísavého tlaku vystupujícího plynu), ani k tomu ale nemám žádné údaje.

## **8. Závěr – konstatování, že cíl práce byl splněn**

Bakalářská práce splnila zadané cíle, obsahuje zpracování geologických a hydrogeologických poměrů chebské pánve, zabývá se výskytem oxidu uhličitého v přírodním prostředí a jeho detekcí. V předem zvolené lokalitě jsem realizoval detailní měření výskytu vystupujícího oxidu uhličitého v půdní vrstvě.

Ve výzkumných aktivitách na lokalitě by bylo možné pokračovat i do budoucna, např. v ověření následujících neznalostí a nejistot:

- Vztah koncentrace oxidu uhličitého a propustnosti (zrnitosti) půdních vrstev
- Vztah měřené koncentrace CO<sub>2</sub> a hloubky měřících sond
- Vztah koncentrace CO<sub>2</sub> a tlakových poměrů atmosféry a hydrogeologické struktury
- Časové změny koncentrace oxidu uhličitého v měřené ploše
- Koncentrace CO<sub>2</sub> v době seismických událostí
- Vliv měřítkového efektu prováděných měření (identifikace makro- a mikroanomálií)

8. 1. 2019

Jan Pavlát

## 9. Použitá literatura a zdroje

Bankwitz P., Schneider G., Kämpf H., Bankwitz E. (2003). Structural characteristics of epicentral areas in Central Europe: study case Cheb Basin (Czech Republic). *Journal of Geodynamics* 35 (2003) 5–32.

Bussert Robert, Kämpf Horst, Flechsig Christina, Hesse Katja, Nickschick Tobias, Liu Qi, Umlauft Josefine, Vylita Tomáš, Wagner Dirk, Wonik Thomas, Flores Hortencia Estrella, and Alawi Mashal (2017). Drilling into an active mofette: pilot-hole study of the impact of CO<sub>2</sub>-rich mantle-derived fluids on the geo-bio interaction in the western Eger Rift (Czech Republic). *Sci. Dril.*, 23, 13–27, 2017.

Dong Shujuan, Zeng Jinyan, Li Lifan, Sun Junbin, Yang Xiong, Liao Hanlin (2017). Significance of in-situ dry-ice blasting on the microstructure, crystallinity and bonding strength of plasma-sprayed hydroxyapatite coatings. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 71 (2017) 136–147.

Fischer T., Horálek J., Hrubcová P., Vavryčuk V. Bräuer, K., Kämpf H. (2014). Intra-continental earthquake swarms in West-Bohemia and Vogtland: A review. *Tectonophysics* 611 (2014) 1–27.

Fischer T., Matyska C., Heinicke J. (2016). Earthquake-enhanced permeability – evidence from carbon dioxide release following the ML3.5 earthquake in West Bohemia. *Earth and Planetary Science Letters* 460 (2017) 60–67.

Fláková Renáta, Ženišová Tlatica, Seman Milan (2010). Chemická analýza vody a hydrogeológie. Slovenská asociácia hydrogeológov.

Flechsig Christina, Heinicke Jens, Mrlina Jan, Kämpf Horst, Nickschick Tobias, Schmidt Alina, Bayer Tomáš, Günther Thomas, Rücker Carsten, Seidel Elisabeth, Seidl Michal (2015). Integrated geophysical and geological methods to investigate the inner and outer structures of the Quaternary Mýtina maar (W-Bohemia, Czech Republic). *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* (2015) 104:2087–2105.



Heinicke Jens, Woith Heiko, Alexandrakis Catherine, Buske Stefan and Telesca Luciano (2018). Can hydroseismicity explain recurring earthquake swarms in NW-Bohemia? *Geophys. J. Int.* (2018) 212, 211–228.

Housecroft Catherine E., Sharpe Alan G. (2012). *Inorganic Chemistry*, Fourth Edition. Person.

Hron J., Škuthan B., (2006). Ná vazný průzkum tlakového pole oxidu uhličitého v regionu západočeských lázní, Ministerstvo životního prostředí, Praha, 119 pp.

Chlupáč Ivo, Brzobohatý Rostislav, Kovanda Jiří, Stráník Zdeně (2011). *Geologická minulost České republiky*. Academia.

Kämpf Horst, Bräuer Karin, Schumann Jens, Hahne Kai, Strauch Gerhard, (2013). Characterization ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $3\text{He}/4\text{He}$ ) and quantification of diffuse and vent  $\text{CO}_2$  emissions. *Chemical Geology*, 2013, vol. 339, s 71-83. ISSN: 0009-2541.

Kolářová Margarita, Hrkal Zbyněk, Daňková Hana, Kněžek Miroslav, Kulháněk Václav, Trefná Emílie (1986). Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000, list 11, Karlovy Vary, list01, Vejprty. Ústřední ústav geologický.

Kolářová Margarita, Myslil Vlastimil (1979). Minerální vody Západočeského kraje. Ústřední ústav geologický.

Krajča Jaromil (1977). Plyny v podzemních vodách. SNTL - Nakladatelství technické literatury.

Krásný Jiří, Císlerová Milena, Čurda Stanislav, Datel Josef V., Dvořík Jaroslav, Grmela Anošt, Hrkal Zbyněk, Kříž Hubert, Marszałek Henryk, Šantrůček Jaromír, Šilar Jan (2012). Podzemní vody České republiky. Česká geologická služba.

Květ Radan (2011). Minerální vody české republiky. Akcent.

Pavelka Vladimír, Schütz Alexandr (1974). Anorganická chemie. Státní pedagogické nakladatelství.

Pitter Pavel (2009). Hydrochemie. VŠCHT Praha.

Špičáková L., Uličný D., Koudelková G. (2000). Tectonosedimentary evolution of cheb basin (NW Bohemia, Czech republic) between late oligocene and pliocene: a preliminary note. Studia geoph. et geod 44, str. 556-580

Vafek Zdeněk (2016). <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/13910-moznosti-mereni-oxidu-uhliciteho-merici-pristroje-a-cidla>

Wagner Vladimír (6. dubna 2009). <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/medicina-a-prirodoveda/838-jak-se-meri-co2-studium-casovych-zmen-obsahu-oxidu-uhliciteho-v-atmosfere>

Zoubek Vladimír, Ambrož Vojtěch, Balatka Břetislav, Fiala František, Holubec Jan, Hoth Klaus, Jetel Jan, Kolářová Margarita, Kopecký Lubomír, Lorenz Winfried, Myslíl Vlastimil, Odehnal Ludvík, Polák Adolf, Sládek Jaroslav, Steinocher Vladimír, Šmíd Bohumil, Václ Jaroslav, Vrba Jaroslav (1963). Vysvětlivky k přehledné geologické mapě 1:200 000, M – 33 – XIII, Karlovy Vary. Ústřední ústav geologický.